

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3632456 A1

⑤1 Int. Cl. 4:
G01N 27/50
F 02 D 41/14

②1 Aktenzeichen: P 36 32 456.6
②2 Anmeldetag: 24. 9. 86
②3 Offenlegungstag: 2. 4. 87

Behördeneigentum

DE 3632456 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
27.09.85 JP P 214004/85 17.02.86 JP P 32496/86

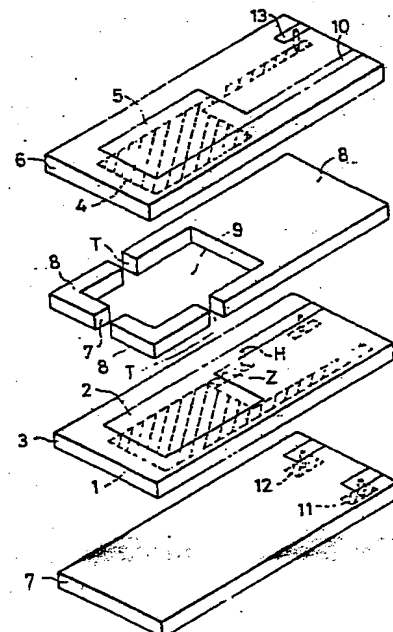
⑦1 Anmelder:
NGK Spark Plug Co., Ltd., Nagoya, Aichi, JP

⑦4 Vertreter:
Henkel, G., Dr.phil.; Feiler, L., Dr.rer.nat.; Hänzel, W.,
Dipl.-Ing.; Kottmann, D., Dipl.-Ing, PAT.-ANW., 8000
München

⑦2 Erfinder:
Hayakawa, Nobuhiro; Miyata, Shigeru; Yamada,
Tetsusho; Yokota, Kazunori, Nagoya, Aichi, JP

⑤4 Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor

Die Erfindung betrifft einen Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor, der ein eindeutiges Ausgangssignal sowohl im Kraftstoff-Anreicherungs- als auch im -Abmagerungsbereich liefert und bei dem keine Atmosphärenluft eingeführt zu werden braucht. Der Sensor besteht aus ersten und zweiten Elementen mit jeweils auf gegenüberliegenden Seiten einer Sauerstoffionen leitenden Elektrolytplatte (3) bzw. (6) geformten porösen Elektroden (1, 2 bzw. 4, 5). Die beiden Elemente sind so angeordnet, daß sie zwischen sich einen Gasraum (9) festlegen, der mit der zu messenden Atmosphäre über einen oder mehrere Diffusionsdrossel- bzw. -begrenzungsteile (T) kommuniziert. Das eine Element dient als elektrochemische Sauerstoffkonzentrationsdifferenzzelle, das andere als Sauerstoffpumpe. An der vom Gasraum (9) abgewandten Seite des einen Elements ist eine interne Bezugs-Sauerstoffquelle so ausgebildet, daß ein konstanter kleiner Strom durch das erste Element fließen kann, um Sauerstoff aus dem Gasraum (9) zur gegenüberliegenden Seite zu transportieren. Diese Sauerstoffquelle enthält die poröse Elektrode an der Seite des ersten Elements, die abgeschlossen ist, aber über einen Sauerstoff-Leckdrosselteil mit dem Gasraum (9) kommuniziert.



DE 3632456 A1

Patentansprüche

1. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor, gekennzeichnet durch ein erstes Element (A) mit zwei porösen Elektroden (1, 2) auf gegenüberliegenden Seiten einer Sauerstoffionen leitenden Festelektrolytplatte (3), ein zweites Element (B) mit zwei porösen Elektroden (4, 5) auf gegenüberliegenden Seiten einer Sauerstoffionen leitenden Festelektrolytplatte (6), Mittel zur Festlegung eines Gasraums (9), der mit der porösen Elektrode (2) am ersten Element (A) und der porösen Elektrode (4) am zweiten Element (B) in Kontakt steht und mit einer zu messenden gasförmigen Atmosphäre über einen Gasdiffusions-Drossel- oder -Begrenzungsteil kommuniziert, und Mittel zur Festlegung einer internen Bezugs-Sauerstoffquelle (R), die mit der porösen Elektrode (1) des ersten Elements (A) in Kontakt steht und über einen Leckdrossel- oder -widerstandsteil mit dem Gasraum kommuniziert.
2. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die porösen Elektroden (1, 2) jeweils mit einem porösen Leistungsteil versehen sind und daß der Leckdrosselteil einen von der porösen Elektrode (1 oder 2) abgehenden porösen Isolator (Z) aufweist und eine durchgehende Bohrung (H) zwischen dem porösen Isolator (Z) und dem porösen Leitungsteil der porösen Elektrode (2 oder 1) ausgebildet ist.
3. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die durchgehende Bohrung mit einem porösen Material (aus)gefüllt ist.
4. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das die durchgehende Bohrung ausfüllende poröse Material dem Material entspricht, aus dem die porösen Elektroden (1, 2) geformt sind.
5. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die durchgehende Bohrung nicht ausgefüllt ist.
6. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der poröse Isolator vom Leitungsteil der Elektrode (1 oder 2) abgeht.
7. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die durchgehende Bohrung mit einem leitfähigen porösen Material (aus)gefüllt ist und zur Herstellung einer externen Verbindung zum Leitungsteil der Elektrode (2 oder 1) dient.
8. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die durchgehende Bohrung mit einem leitfähigen Material ausgekleidet ist und zur Herstellung einer elektrischen Verbindung mit dem Leitungsteil der Elektrode (2 oder 1) dient.
9. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der poröse Isolator (Z) einen vom Leitungsteil der Elektrode (1 oder 2) praktisch orthogonal dazu abgehenden ersten Abschnitt und einen praktisch parallel zum Leitungsteil der Elektrode (2 oder 1) verlaufenden zweiten Abschnitt aufweist.
10. Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein im wesentlichen konstanter kleiner Strom durch das erste Element (A) leitbar ist, um Sauerstoff(ionen) aus dem Gasraum (9) zur internen Bezugs-Sauerstoff-

quelle (R) zu transportieren und in letzterer einen gegebenen Sauerstoff-Partialdruck zu erzeugen, und der durch das zweite Element (B) fließende Strom bidirektional in der Weise regelbar ist, daß das Ausgangssignal zwischen den porösen Elektroden (1, 2) auf einer vorbestimmten konstanten Spannung haltbar ist, so daß die Größe des als Ergebnis der bidirektionalen Regelung erhaltenen Stroms das Luft/Kraftstoffverhältnis der zu messenden gasförmigen Atmosphäre angibt.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor zum Messen des Luft/Kraftstoffverhältnisses im Ansaugluft/Kraftstoffgemisch bei einer Brennkraftmaschine oder einer anderen Verbrennungsvorrichtung auf der Grundlage der Sauerstoffkonzentration im Abgas von der Maschine oder Vorrichtung.

Es sind verschiedene Luft/Kraftstoff-Verhältnissenoren zum Messen des Luft/Kraftstoffverhältnisses in dem einer Brennkraftmaschine oder einer anderen Verbrennungsvorrichtung zugeführten Luft/Kraftstoffgemisch auf der Grundlage der Sauerstoffkonzentration im Abgas bekannt. Ein derartiger, in der JP-OS 1 78 354/1984 beschriebener Sensor umfaßt zwei beabstandete Elemente, die jeweils auf gegenüberliegenden Seiten eines tafelförmigen, Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten ausgebildete poröse Elektroden aufweisen. Das eine dieser Elemente dient als Sauerstoffpumpe zum Auspumpen von Sauerstoff aus dem Spalt zwischen den beiden Elementen, während das andere Element als elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszelle dient, die eine Spannung entsprechend der Sauerstoffkonzentrations-Differenz zwischen dem Spalt und der Umgebungsatmosphäre erzeugt. Dieser Sensor vermag das Luft/Kraftstoffverhältnis im kraftstoffarmen Bereich (Abmagerungsbereich) des Ansauggemisches zu messen.

Dieser bisherige Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor, der hauptsächlich für den Betrieb nur im Abmagerungsbereich, in welchem das Abgas eine große Menge an Restsauerstoff enthält, ausgelegt ist, erzeugt jedoch ein ähnliches Signal im kraftstoffreichen Bereich (Anreicherungsgebiet), in welchem das Abgas einen sehr kleinen Anteil an Restsauerstoff enthält, aufgrund des Vorhandenseins sauerstoffhaltiger Verbindungen, wie CO, CO₂ und H₂O, im Abgas. Mit anderen Worten, jede Größe des Ausgangssignals des Luft/Kraftstoff-Verhältnissenors (außer bei genau dem stöchiometrischen Wert) kann jeweils eine von zwei verschiedenen Größen des Luft/Kraftstoffverhältnisses repräsentieren; dies bedeutet, daß das Sensor-Ausgangssignal bezüglich des Abmagerungs- und des Anreicherungsgebiets mehrdeutig ist. Dieser Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor kann mithin nicht für die Luft/Kraftstoffverhältnisregelung eingesetzt werden, sofern nicht definitiv bekannt ist, ob die Verbrennungsvorrichtung im kraftstoffarmen oder im kraftstoffreichen Bereich arbeitet.

Zur Ausschaltung dieses Problems wurde bereits vorgeschlagen, Atmosphärenluft in Berührung mit der von der Sauerstoffpumpe abgewandten Seite der elektrochemischen Sauerstoffkonzentrationszelle zu leiten und damit ein Invertieren (Umkippen) des Meßsignals im Bereich der stöchiometrischen Größe des Luft/Kraftstoffverhältnisses zu verhindern. Zu diesem Zweck muß jedoch der Luft-/Kraftstoff-Verhältnissensor gegenüber der Umgebungsatmosphäre offen sein, wodurch

wiederum der Sensoraufbau aufgrund der Schwierigkeit, den Sensor wasserdicht auszubilden, komplex wird.

Zur Vermeidung dieses Problems sind zwei Abwandlungen vorgeschlagen worden. Gemäß einer ersten Abwandlung wird, anstatt Atmosphärenluft in den Sensor einzuleiten, Sauerstoff durch eine interne oder eingebaute Bezugs-Sauerstoffquelleneinheit erzeugt, die eine elektrochemische Sauerstoffpumpzelle enthält und an der einen Seite der elektrochemischen Sauerstoffkonzentrationszelle angeordnet ist. Dabei wird ein Teil des in dieser Einheit erzeugten Sauerstoffs durch einen Leckdrosselteil zum Eindringen in das umgebende Abgas gebracht, so daß der Sauerstoff-Partialdruck in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle konstant gehalten wird (vgl. JP-OS 1 37 586/1985). Auf diese Weise wird die Notwendigkeit für eine atmosphärische Referenz vermieden. Gemäß der zweiten Abwandlung wird die Notwendigkeit für eine atmosphärische Referenz durch Verwendung eines "strombegrenzenden" Sensors in Kombination mit einer Lambda-Sonde vermieden (vgl. SAE Technical Paper No. 8 50 379).

Der beschriebene Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor, bei dem ein Teil des an der internen Bezugs-Sauerstoffquelleneinheit erzeugten Sauerstoffs in das Umgebungs-Abgas eindringen kann, ist mit dem Nachteil behaftet, daß bei einer Änderung des Sauerstoff-Partialdrucks im umgebenden Abgas eine entsprechende Änderung im Sauerstoff-Partialdruck in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle auftritt. Dieses Problem verstärkt sich besonders dann, wenn das Abgas im Anreicherungszone anfallt, weil nämlich die in dem im Anreicherungszone anfallenden Abgas enthaltenen, entzündbaren Gasbestandteile, wie CO und H₂, den Leckdrosselteil passieren, so daß ein großer Teil des Gases umgekehrt in die interne Bezugs-Sauerstoffquelleneinheit diffundiert. Es hat sich gezeigt, daß (dabei) der Sauerstoffdruck in der Quelleneinheit stark herabgesetzt wird und dadurch ein nicht vernachlässigbarer Fehler in das Ausgangssignal der (elektrochemischen) Sauerstoffkonzentrationszelle eingeführt wird. Ein weiteres Problem bei diesem Sensor ergibt sich daraus, daß die Öffnung am Leckdrosselteil der internen Bezugs-Sauerstoffquelleneinheit dem Abgas ausgesetzt ist. Infolgedessen können sich Ablagerungen bestimmter glasbildender Bestandteile des Abgases an der Öffnung dieses Leckdrosselteils bilden, was praktisch zu einem Blockieren der internen Bezugs-Sauerstoffquelle führt und einen abnormalen Anstieg des internen Sauerstoff-Partialdrucks hervorruft, welcher eine einwandfreie Messung des Luft/Kraftstoffverhältnisses unmöglich macht oder sogar zu einem vollständigen Ausfall des Sensors führen kann.

Aufgabe der Erfindung ist damit die Schaffung eines verbesserten Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors, bei dem die Einführung von Atmosphärenluft in Berührung mit der einen Seite der elektrochemischen Sauerstoffzelle vermieden wird, während dabei dennoch dieselbe Wirkung wie mit einer solchen Einführung von Atmosphärenluft erzielt wird.

Diese Aufgabe wird bei dem Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor der angegebenen Art erfindungsgemäß gelöst durch ein erstes Element A mit zwei porösen Elektroden auf gegenüberliegenden Seiten einer Sauerstoffionen leitenden Festelektrolytplatte, ein zweites Element B mit zwei porösen Elektroden auf gegenüberliegenden Seiten einer Sauerstoffionen leitenden Festelektrolytplatte, Mittel zur Festlegung eines Gasraums, der mit der porösen Elektrode am ersten Element A und der

porösen Elektrode am zweiten Element B in Kontakt steht und mit einer zu messenden gasförmigen Atmosphäre über einen Gasdiffusions-Drossel- oder -Begrenzungsteil kommuniziert, und Mittel zur Festlegung einer internen Bezugs-Sauerstoffquelle R, die mit der porösen Elektrode des ersten Elements A in Kontakt steht und über einen Leckdrossel- oder -widerstandsteil mit dem Gasraum kommuniziert.

Ein typisches Beispiel für den bei erstem und zweitem Element verwendeten, Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten ist eine feste Lösung aus Zirkonoxid und Yttriumoxid oder Calciumoxid (calcia). Andere verwendbare Stoffe sind feste Lösungen aus Cerdioxid, Thoriumdioxid und Hafniumdioxid, eine feste Lösung eines Oxids des Perovskite-Typs sowie eine feste Lösung eines dreiwertigen Metalloxyds. Die auf den gegenüberliegenden Seiten der Festelektrolyte ausgebildeten porösen Elektroden (a-d) können aus Platin, Rhodium oder einem anderen Metall, das die oxidative Reaktion zu katalysieren vermag, bestehen. Die Elektroden selbst können nach verschiedenen Verfahren hergestellt werden. Bei einem derartigen Verfahren wird eine Paste aus einem Pulver aus Platin, Gold oder einem anderen geeigneten Metall, das mit einem Pulver aus demselben Keramikmaterial wie dem des Festelektrolyten vermischt ist, nach Dickschicht-Auftragstechnik in einem vorbestimmten Muster auf den Festelektrolyten aufgedruckt, worauf der aufgedruckte Überzug gesintert wird. Bei einem anderen Verfahren wird das Pulver, als Ausgangsmaterial, nach zweckmäßiger Dünnschicht-Auftragstechnik, wie Flammsprühen, chemisches Plattieren oder Aufdampfen, auf den Festelektrolyten aufgetragen. Die porösen Elektroden (b-d), die dem Abgas ausgesetzt sein sollen, werden vorzugsweise nach Dickschicht-Auftragstechnik mit einer porösen Schutzschicht aus Aluminiumoxid, Spinell, Zirkonoxid, Mullit o. dgl. beschichtet.

Der Gasraum ist ein Raum, in welchen das umgebende Abgas unter Diffusionsbegrenzung oder -drosselung durch einen Gasdiffusionsdrosselteil eingeführt wird. Dieser Raum kann durch Einsetzen eines Abstandstücks, d. h. eines laminaren oder lagenförmigen Zwischenelements aus Al₂O₃, Spinell, Forsterit, Steatit, Zirkonoxid o. dgl., zwischen erstes und zweites Element in der Weise, daß eine flache geschlossene Kammer zwischen der porösen Elektrode (b) am ersten Element und der porösen Elektrode (c) am zweiten Element festgelegt wird, geformt werden. Das Abstandstück ist mit Öffnungen versehen, die als Gasdiffusionsdrosselteil wirken und eine Verbindung zwischen der Umgebungsgasatmosphäre und dem Gasraum herstellen. Der Gasdiffusionsdrosselteil ist bezüglich seiner Form keinen besonderen Einschränkungen unterworfen, solange er eine Verbindung zwischen der Umgebungsgasatmosphäre und dem Gasraum in diffusionsbegrenzender oder ähnlicher Weise herzustellen vermag. Beispielsweise kann das Abstandstück teilweise oder ganz durch einen porösen Körper ersetzt werden; wahlweise können im Abstandstück (das seinerseits eine dicke Überzugsschicht bilden kann) Öffnungen vorgesehen sein. Gewünschtenfalls kann das Abstandstück nur im Bereich zwischen den Anschlußseiten des ersten Elements und des zweiten Elements so angeordnet sein, daß zwischen den beiden Elementen ein Zwischenraum oder Spalt festgelegt wird, der als Gasdiffusion-Drosselspalt und auch als Gasraum dient. Letzterer kann vollständig mit einem porösen Material, vorzugsweise einem elektrischen Isolator, gefüllt sein.

Wenn der Gasraum, wie beschrieben, in flacher Form vorliegt, liegt seine Weite (Abstand zwischen den Flächen der porösen Elektroden an den beiden Elementen) vorteilhaft im Bereich von 0,01–0,2 mm, bevorzugt im Bereich von 0,05–0,1 mm. Wenn die Weite des Gasraums kleiner ist als 0,01 mm, wird die Diffusion von gasförmigem Sauerstoff so stark begrenzt oder gedrosselt, daß die Ansprechempfindlichkeit des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors eher verschlechtert als verbessert wird. Bei einer zu kleinen Weite des Gasraums kann sich dieser zudem während der Fertigung des Sensors unter Beeinträchtigung einer zuverlässigen elektrischen Isolierung verformen, mit dem Ergebnis, daß Sensoren gleichbleibender Güte schwierig herzustellen sind. Wenn andererseits die Weite des Gasraums mehr als 0,2 mm beträgt, vergrößert sich die über die Weite des Gasraums entstehende Differenz im Partialdruck der Gasbestandteile, was nicht nur eine unerwünschte Erhöhung des Pumpstroms, sondern auch eine verringerte Ansprechempfindlichkeit des Sensors zur Folge hat.

Die interne Bezugs-Sauerstoffquelle dient als Sammler für Sauerstoff, der durch den durch das erste Element fließenden Strom aus dem Gasraum extrahiert oder abgesaugt wird. Die Sauerstoffquelle kann aus einer Kombination aus einer z. B. aus Al_2O_3 , Spinell, Forsterit, Steatit, Zirkonoxid o. dgl. bestehenden Abschirmplatte, die mit einer der Form der porösen Elektrode (a) am ersten Element, an welcher die Abschirmung angebracht wird, angepaßten Ausnehmung versehen ist, und einer Schicht aus einem porösen Material, als Leckdrosselteil, bestehen, deren eine Seite zur Innenfläche der Ausnehmung freiliegt und deren andere Seite über eine durchgehende Bohrung im ersten Element mit dem Gasraum in Verbindung steht. Der Leckdrosselteil besitzt einen hohen Widerstand gegenüber einer Gasdiffusion (kleine Gasleitfähigkeit) und bewirkt eine allmähliche Bewegung oder Verlagerung von Sauerstoff von der internen Bezugs-Sauerstoffquelle in den Gasraum. Die Schicht aus porösem Material kann aus den porösen Elektroden (a und b) gebildet sein. Die poröse Schicht kann durch sehr kleine Löcher ersetzt sein, welche das erste Element durchsetzen und im Inneren des Gasraums münden. Die interne Bezugs-Sauerstoffquelle kann (auch) durch die verbindenden Poren in der porösen Elektrode (a) gebildet werden, anstatt eine Ausnehmung in der Abschirmplatte vorzusehen.

Das erste Element arbeitet als Sauerstofferzeuger und gleichzeitig als elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszelle, während das zweite Element als Sauerstoffpumpe dient.

Eine der durch das erste Element zu erfüllenden Aufgaben besteht in der Erzeugung von Sauerstoff. Dies geschieht aufgrund der Fähigkeit des Festelektrolyten, eine Bewegung von Sauerstoffionen durch eine Platte aus dem Festelektrolyten zuzulassen, wenn unter zweckmäßigen Temperaturbedingungen ($\geq 400^\circ\text{C}$, falls der Festelektrolyt aus stabilisiertem Zirkonoxid besteht) eine Spannung zwischen die Elektroden auf den gegenüberliegenden Seiten der Platte angelegt wird. Wenn eine Spannung zwischen die mit dem Gasraum in Berührung stehende poröse Elektrode (b) und die mit der internen Bezugs-Sauerstoffquelle in Berührung stehende poröse Elektrode (a) in der Weise angelegt wird, daß Sauerstoffionen von der Elektrode (b) zur Elektrode (a) fließen (d. h. die Elektrode (b) negativ vorgespannt ist, während die Elektrode (a) positiv ist), wird Sauerstoff aus dem Gasraum zum Bereich der porösen Elektrode (a) transportiert und dabei Sauerstoff in der

internen Bezugs-Sauerstoffquelle freigesetzt.

Das erste Element wirkt auch als elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszelle, welche die Fähigkeit der Festelektrolytplatte zur Erzeugung einer Spannung (elektromotorische Kraft bzw. EMK) entsprechend der Sauerstoff-Partialdruckdifferenz zwischen den gegenüberliegenden Seiten der Platte, wenn diese zweckmäßigen Temperaturbedingungen ausgesetzt ist, nutzt. Das erste Element mißt den Sauerstoff-Partialdruck im Gasraum gegen den Sauerstoff in der ersten Bezugs-Sauerstoffquelle.

Das zweite Element bildet eine Sauerstoffpumpe mit demselben Arbeitsprinzip wie beim ersten Element, wenn dieses als Sauerstofferzeuger arbeitet: Sauerstoffionen bewegen sich (oder wandern) durch die Festelektrolytplatte, wenn unter zweckmäßigen Temperaturbedingungen eine Spannung zwischen die gegenüberliegenden Seiten der Platte angelegt wird. Bei Anlegung einer Spannung zwischen die beiden porösen Elektroden (c und d) pumpt das Sauerstoffpumpelement Sauerstoff aus dem oder in den Gasdiffusionsraum.

Im folgenden ist das Grundprinzip der Arbeitsweise des erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors näher erläutert.

Zunächst wird durch Anlegung einer vorbestimmten Spannung (z. B. 5 V) über einen Widerstand (z. B. 500 k Ω) zwischen die porösen Elektroden (a und b) des ersten Elements in der Weise, daß die Elektrode (a) positiv vorgespannt und die Elektrode (b) negativ ist, ein Stromfluß einer vorbestimmten Größe erzeugt. Infolgedessen wird Sauerstoff aus dem Gasraum zur internen Bezugs-Sauerstoffquelle transportiert.

Wenn der Sauerstoff-Partialdruck an der internen Bezugs-Sauerstoffquelle denjenigen im Gasraum übersteigt, wird zwischen den porösen Elektroden (a und b) eine der Sauerstoff-Partialdruckdifferenz proportionale EMK erzeugt. Die resultierende Klemmenspannung variiert zwischen dem Zustand, in welchem das Gas im Gasraum kraftstoffangereichert ist, und dem Zustand, in welchem dieses Gas kraftstoffabgemagert ist, bis zu mehreren hundert mV. Diese Differenz ist groß genug, um eine plötzliche oder sprunghafte Änderung im Sensorausgangssignal bei der stöchiometrischen Größe des Luft/Kraftstoffverhältnisses (Übergangspunkt zwischen Anreicherungs- und Abmagerungsbereich) hervorzurufen.

Unter Nutzung dieser Charakteristik des ersten Elements pumpt das zweite Element Sauerstoff in der Weise in den oder aus dem Gasraum, daß das Luft/Kraftstoffverhältnis im Gasraum unabhängig vom Luft/Kraftstoffverhältnis des umgebenden Abgases praktisch auf der stöchiometrischen Größe ($\lambda = 1$) gehalten wird.

Bevorzugt wird das zweite Element betätigt, um Sauerstoff in der Weise aus dem oder in den Gasraum zu pumpen, daß die Spannung zwischen den Klemmen oder Anschlüssen am ersten Element auf einer vorbestimmten Größe gehalten wird. Der durch das zweite Element fließende Strom (im folgenden als Pumpstrom bezeichnet) wird als ein das Luft/Kraftstoffverhältnis des Abgases angegebendes Ausgangssignal abgegriffen. Wahlweise kann der durch das zweite Element fließende Pumpstrom auf eine vorbestimmte konstante Größe geregelt werden, wobei die resultierende, zwischen den Klemmen des ersten Elements erzeugte Spannung als ein das Luft/Kraftstoffverhältnis des Abgases angegebendes Signal abgegriffen wird. Unabhängig von dem jeweils angewandten Verfahren wird eine äußerst genaue

Messung realisiert, weil der Sauerstoff-Partialdruck an der internen Bezugs-Sauerstoffquelle auf einer konstanten Größe gehalten wird.

Weiterhin wird die Arbeitsweise des erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors für den Fall erläutert, in welchem der durch das zweite Element fließende Pumpstrom so eingestellt wird, daß die Klemmenspannung über das erste Element konstant bleibt.

Es sei angenommen, daß Dauerzustandsbedingungen vorliegen, unter denen das Luft/Kraftstoffverhältnis im Gasraum durch die Wirkung von erstem und zweitem Element auf der stöchiometrischen Größe ($\lambda = 1$) gehalten wird. Die sich durch die Festelektrolytplatte vom Gasraum in die interne Bezugs-Sauerstoffquelle bewegende Sauerstoffmenge läßt sich durch die nachstehend angegebene Gleichung (die den Diffusionskoeffizienten D als Parameter enthält) ausdrücken:

$$(RT/4F)I_{cp} = C \cdot D_{O_2}(PS_{O_2} - PO_{O_2}) + C \cdot D_{H_2}(PO_{H_2} - PS_{H_2})/2 + C \cdot D_{CO}(PO_{CO} - PS_{CO})/2 \quad (1)$$

In obiger Gleichung bedeuten:

R = Gaskonstante ($n \cdot m \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)

T = Absoluttemperatur (K)

F = Faradaysche Konstante (Coulomb $\cdot mol^{-1}$)

I_{cp} = Strom (Coulomb $\cdot s^{-1}$)

C = Querleitwert (m)

D_{O_2} = Diffusionskoeffizient von O_2 ($m^2 \cdot s^{-1}$)

D_{H_2} = Diffusionskoeffizient von H_2 ($m^2 \cdot s^{-1}$)

D_{CO} = Diffusionskoeffizient von CO ($m^2 \cdot s^{-1}$)

PS_{O_2} = Druck von O_2 in interner Bezugs-Sauerstoffquelle ($N \cdot m^{-2}$)

PS_{H_2} = Druck von H_2 in interner Bezugs-Sauerstoffquelle ($N \cdot m^{-2}$)

PS_{CO} = Druck von CO in interner Bezugs-Sauerstoffquelle ($N \cdot m^{-2}$)

PO_{O_2} = Druck von O_2 im Gasraum ($N \cdot m^{-2}$)

PO_{H_2} = Druck von H_2 im Gasraum ($N \cdot m^{-2}$)

PO_{CO} = Druck von CO im Gasraum ($N \cdot m^{-2}$)

Die linke Seite von Gleichung (1) steht für die Sauerstoffströmungsmenge oder -geschwindigkeit durch den Festelektrolyten. Das erste Glied (Term) an der rechten Seite gibt die Sauerstoffströmungsmenge von der internen Bezugs-Sauerstoffquelle in den Gasraum über den Leckdrosselteil an. Zweites und drittes Glied an der rechten Seite stehen für die Sauerstoffströmungsmengen in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle, wobei diese Ströme jeweils durch H_2 bzw. CO verbraucht werden, die sich aus dem Gasraum über den Leckdrosselteil in die interne Bezugs-Sauerstoffquelle bewegen. Das Symbol C an der rechten Seite von Gleichung (1) bedeutet den Leitwert (conductance) eines den Leckdrosselteil passierenden Gases; je größer C ist, um so größer ist die (der) Gasleckage (oder -austritt).

Es kann allgemein angenommen werden, daß in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle, in welcher Sauerstoff gespeichert ist, $PS_{H_2} = 0$ und $PS_{CO} = 0$ gelten. Gleichung (1) läßt sich somit wie folgt umschreiben:

$$PS_{O_2} = (1/CD_{O_2}) \cdot (RT/4F) \cdot I_{cp} - (1/D_{O_2}) \cdot (D_{H_2}PO_{H_2} + D_{CO}PO_{CO}) + PO_{O_2} \quad (2)$$

Demzufolge hängt PS_{O_2} von PO_{O_2} , PO_{H_2} und PO_{CO} ab. Da jedoch das Luft/Kraftstoffverhältnis des Gases im Gasraum praktisch auf $\lambda = 1$ geregelt wird, sind PO_{O_2} , PO_{H_2} und PO_{CO} konstant, so daß auch PS_{O_2} (= Sauerstoff-Partialdruck in der internen Bezugs-Sauerstoff-

quelle) konstant ist.

Im folgenden sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine teilweise im Schnitt gehaltene perspektivische Darstellung eines Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 2A eine auseinandergezogene perspektivische Darstellung des Sensors gemäß Fig. 1.

Fig. 2B einen in vergrößertem Maßstab gehaltenen Teilschnitt zur Veranschaulichung einer durchgehenden Bohrung im Sensor gemäß Fig. 1.

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Anwendung des Sensors gemäß Fig. 1.

Fig. 4 ein Schaltbild eines für den Betrieb des Sensors gemäß Fig. 1 verwendbaren Luft/Kraftstoffverhältnis-Signaldetektors.

Fig. 5 ein Schaltbild einer Abwandlung des Signaldetektors.

Fig. 6 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem Luft/Kraftstoffverhältnis und dem Ausgangssignal des Sensors gemäß Fig. 1, wenn dieser an den Signaldetektor(kreis) angeschlossen ist.

Fig. 7 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem Ausfluß- oder Leckindex und dem Bezugssauerstoffdruck im Sensor gemäß Fig. 1.

Fig. 8 eine perspektivische Darstellung zur Veranschaulichung des Leckdrosselteils (leakage resisting portion) eines Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 9A und 9B in vergrößertem Maßstab gehaltene Teilschnittansichten zweier Ausgestaltungen einer durchgehenden Bohrung beim Sensor gemäß Fig. 8.

Nachstehend ist eine erste Ausführungsform der Erfindung anhand der Fig. 1 und 2A beschrieben. In den Fig. 1 und 2A sind die jeweiligen Teile nicht maßstabsgleich gezeichnet.

Gemäß Fig. 1 und 2A umfaßt der erfindungsgemäße Luft-/Kraftstoff-Verhältnissensor ein erstes Element A mit auf gegenüberliegenden Seiten einer Festelektrolytplatte 3 ausgebildeten porösen Elektroden 1 und 2 (a bzw. b), ein zweites Element B mit auf gegenüberliegenden Seiten einer Festelektrolytplatte 6 ausgebildeten porösen Elektroden 4 und 5 (c bzw. d), eine durch die poröse Elektrode 1 an der Grenzfläche zwischen dem ersten Element A und einer Abschirmplatte 7 gebildete interne Bezugs-Sauerstoffquelle R, wobei die poröse Elektrode 1 bei der beschriebenen Ausführungsform in die Festelektrolytplatte 3 eingelassen ist, einen durch einen porösen Isolator Z, einen durchgehende Bohrung H und eine poröse Leitung (lead) zur porösen Elektrode 2 gebildeten Leckdrosselteil, wobei das eine Ende des porösen Isolators Z mit der porösen Elektrode 1 in Kontakt steht, während sein anderes Ende mit der Leitung der porösen Elektrode 2 über die durchgehende Bohrung H in Kontakt steht, sowie einen zwischen den porösen Elektroden 2 und 4 von erstem und zweitem Element A bzw. B, die unter Zwischenfügung eines Abstandstücks 8 als laminares oder lagenförmiges Zwischenelement zusammengesetzt sind, gebildeten Gasraums 9. Bei der dargestellten Ausführungsform ist das Abstandstück 8 an drei Stellen ausgespart, so daß es als Gasdiffusions-Begrenzungs- oder -Drosselteile T wirkende Öffnungen bildet.

Die poröse Elektrode 5 ist mit einem Anschluß bzw. einer Klemme 10 verbunden, während die porösen Elektroden 1, 2 und 4 mit Klemmen 11, 12 bzw. 13 über

zugeordnete Verbindungslöcher verbunden sind.

Die durchgehende Bohrung H als Element des Leckdrosselteils kann die in Fig. 2B im Teilschnitt dargestellte Ausbildung aufweisen. Gemäß Fig. 2B ist die Bohrung H mit einem porösen Material derselben Art wie das Material der porösen Elektrode 2 gefüllt. Wahlweise kann jedoch die Bohrung H mit dem porösen Isolator Z gefüllt oder ungefüllt sein. Die durchgehende Bohrung H muß lediglich in der Lage sein, Sauerstoff vom porösen Isolator Z zur porösen Elektrode 2 hindurchsickern zu lassen.

Die Einzelteile des Sensors gemäß dieser Ausführungsform besitzen die folgenden Abmessungen: Die Festelektrolytplatten 3 und 6 sind jeweils 0,5 mm dick, 4 mm breit und 25 mm lang. Die einzelnen porösen Elektroden 1, 2, 4 und 5 besitzen jeweils die Abmessungen 2,4 × 7,2 mm. Das Abstandstück 8 ist 60 µm dick, 4 mm breit und 25 mm lang. Der im Abstandstück 8 festgelegte Gasraum 9 besitzt die Abmessungen 2,4 × 7,7 mm, und die Gasdiffusions-Drosselteile 7 liegen in Form dreier Öffnungen oder Durchbrüche von jeweils 0,5 mm Breite vor. Die Abschirmplatte 7 ist 0,5 mm dick, 4 mm breit und 25 mm lang. Der aus Al_2O_3 hergestellte poröse Isolator Z ist 1 mm breit, 10 mm lang und 30 µm dick. Die durchgehende Bohrung H besitzt einen Durchmesser von 0,7 mm.

Die als Basis oder Träger für erstes und zweites Element A bzw. B dienenden Festelektrolytplatten 3 und 6 bestehen aus einem Festelektrolyten auf Y_2O_3 - ZrO_2 -Basis. Jede der Elektroden 1, 2, 4 und 5 besteht aus einem porösen Körper, in welchem Platin mit 10 Gew.-% Y_2O_3 - ZrO_2 dotiert ist. Die Abschirmplatte 7 und das Abstandstück 8 bestehen jeweils Zirkonoxid.

Im folgenden ist die Arbeitsweise des Sensors gemäß der beschriebenen Ausführungsform anhand von Fig. 3 beispielhaft beschrieben. Der Übersichtlichkeit halber ist der Sensor S in Fig. 3 ohne die Anschlüsse bzw. Klemmen 10, 11, 12 und 13 dargestellt, wobei die Elektroden 1, 2, 4 und 5 unmittelbar an Zuleitungen einer zugeordneten Schaltung angeschlossen sind.

Der Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor S ist in ein Auspuff- bzw. Abgasrohr 100 mittels eines Gewindeteils 101 und eines Befestigungsteils 102 eingebaut. Das untere Ende des Sensors S ist durch den Befestigungsteil 102 luftdicht abgeschlossen, so daß kein Sauerstoff aus der internen Bezugs-Sauerstoffquelle austreten und über die Zuleitung zur porösen Elektrode 1 zur Umgebungsatmosphäre entweichen kann.

Die Elektroden 1 und 2 des ersten Elements A und Elektroden 4 und 5 des zweiten Elements B sind an einen Luft/Kraftstoffverhältnis-Signaldetektorkreis 201 angeschlossen.

Der Detektorkreis 201 läßt einen vorbestimmten kleinen Strom durch das erste Element A fließen, um in der im Bereich der porösen Elektrode 1 gebildeten internen Bezugs-Sauerstoffquelle R einen vorgegebenen Sauerstoff-Partialdruck zu erzeugen. Gleichzeitig bewirkt der Detektorkreis 201 eine bidirektionale oder zweiseitig gerichtete Regelung des durch das zweite Element B fließenden Pumpstroms in der Weise, daß das zwischen den porösen Elektroden 1 und 2 erscheinende Ausgangssignal, das der Sauerstoff-Partialdruckdifferenz zwischen Bezugs-Sauerstoffquelle R und Gasraum 9 proportional ist, auf einer vorbestimmten konstanten Spannung gehalten wird. Dies bedeutet, daß das Luft/Kraftstoffverhältnis des Gases im Gasraum 9 auf einer konstanten Größe gehalten wird. Die Größe des als

Ergebnis dieser bidirektionalen Regelung erhaltenen Stroms wird als Luft/Kraftstoff-Verhältnissignal V_1 abgegriffen.

Der Detektorkreis 201 kann gemäß Fig. 4 aus fünf Operationsverstärkern $OP1$ bis $OP5$ aufgebaut sein. Ein Ausgangssignal V_1 vom ersten Element A wird verstärkt und mit einer Bezugsspannung V_c verglichen. Die Differentialspannung oder Spannungsdifferenz zwischen diesen beiden Größen wird zur Regelung des Pumpstroms in zwei Richtungen benutzt, um das Ausgangssignal V_1 auf einer konstanten Größe zu halten. Der so geregelte Pumpstrom wird dem Operationsverstärker $OP5$ eingespeist, der als Ausgangssignal ein Luft/Kraftstoffverhältnis-Signal V_1 liefert.

Der Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor gemäß dieser Ausführungsform kann das Luft/Kraftstoffverhältnis mittels einer Schaltung messen, welche das Potential der porösen Elektrode 2 demjenigen der Elektrode 4 angleicht. In diesem Fall bewirkt ein Kontakt zwischen den porösen Elektroden 2 und 4 keine Beeinflussung der Messung des Luft/Kraftstoffverhältnisses. Aus diesem Grund können die beiden Elektroden 2 und 4 als einheitliche Elektrode ausgebildet sein, wenn eine Schaltung der Anordnung gemäß Fig. 5 verwendet wird, bei welcher ein Anschluß oder eine Klemme $P11$ mit der porösen Elektrode 1, ein Anschluß bzw. eine Klemme $P12$ mit den Elektroden 2 und 4, die als einzige, einheitliche Elektrode ausgebildet sind, und ein Anschluß bzw. eine Klemme $P14$ mit der porösen Elektrode 5 verbunden sind.

Bei Verwendung des oben beschriebenen Luft/Kraftstoffverhältnis-Signaldetektorkreises 201 wird die in Fig. 6 in ausgezogener Linie dargestellte Kennlinie erhalten. Dabei ändert sich das Luft/Kraftstoffverhältnis-Signal V_1 fortlaufend vom kraftstoffreichen Bereich bzw. Anreicherungsgebiet zum kraftstoffarmen Bereich bzw. Abmagerungsgebiet, während sie einen Punkt entsprechend der Bezugsspannung $V_1 = 1$ für $\lambda = 1$ durchläuft.

Die Betriebseigenschaften der beschriebenen Ausführungsform sind nachstehend näher erläutert.

Zunächst sei angenommen, daß der über das zweite Element B fließende Pumpstrom so geregelt wird, daß die Ausgangsspannung vom ersten Element auf einer konstanten Größe gehalten wird, um den Sauerstoffgehalt im Gasraum in der Weise einzustellen, daß λ praktisch gleich 1 ist. In diesem Fall ist PSO_2 wesentlich größer als PO_{O_2} , PO_{H_2} , PO_{CO} , PS_{H_2} und PS_{CO} , so daß sich Gleichung (1) wie folgt umschreiben läßt:

$$(RT/4F)I_{cp} = C \cdot D_{O_2} \cdot PSO_2 \quad (3)$$

Gleichung (3) zeigt, daß sich PSO_2 bestimmen läßt, wenn sowohl I_{cp} und Coder $C \cdot D_{O_2}$ bekannt sind.

Zur Bestimmung des Quer- oder Leckleitwerts C wurden vier Prüflinge eines Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors gemäß der ersten Ausführungsform mit unterschiedlichen Widerstandswerten für Gasleckage angefertigt. Da es sich als unmöglich erwies, die Größe von C unmittelbar zu bestimmen, wurden eine Spannung von Null Volt an die poröse Elektrode 1 des ersten Elements und eine Spannung von 500 mV an die poröse Elektrode 2 angelegt, während Umgebungsatmosphäre und Luft (O_2 -Partialdruck = 0,2 kg/cm² bzw. bar) in den Gasraum 9 eingeleitet wurde (das zweite Element wurde nicht betätigt). Die Größen von I_{cp} (des Stroms, der von der Elektrode 1 in die Elektrode 2 fließt, wenn die vier Sensorprüflinge einer Temperatur von 600°C ausgesetzt

sind) wurden gemessen und als Index für die Gasleckage benutzt. Wenn daher die angelegte Spannung E (500 mV) und der Sauerstoff-Partialdruck PO_{O_2} im Gasraum (der im vorliegenden Fall konstant ist, wobei der Gasraum mit Atmosphärenluft gefüllt ist) bekannt sind, läßt sich der Sauerstoff-Partialdruck in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle anhand der bekannten Nernst-schen Gleichung

$$E = (RT/4F) \cdot \log(P_{O_{O_2}}/P_{SO_2}) \quad (4)$$

als konstant bestimmen. Wenn PO_{O_2} und PS_{O_2} bekannt sind, läßt sich die Größe von C (oder $C \cdot D_{O_2}$, die I_{cp} , d. h. dem zwischen den porösen Elektroden 1 und 2 fließenden Strom, proportional ist) anhand der folgenden Gleichung bestimmen:

$$(RT/4F)I_{cp} = C \cdot D_{O_2}(P_{O_{O_2}} - P_{SO_2}) \quad (5)$$

Fig. 7 veranschaulicht die Beziehung zwischen I_{cp} und PS_{O_2} (Sauerstoff-Partialdruck der internen Bezugs-Sauerstoffquelle) für vier Prüflinge des Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors für den Fall, daß das Luft/Kraftstoff-verhältnis (λ) des Gases im Gasraum auf 1 gehalten und ein I_{cp} von 10 μA zwischen den porösen Elektroden 1 und 2 zum Fließen gebracht wurde. Die Größen von PS_{O_2} wurden durch Einsetzen von CD_{O_2} und I_{cp} in Gleichung (3) berechnet, wobei der erstere Parameter anhand von I_{cp} nach Gleichung (5) bestimmt wurde. Die Meßwerte sind in Fig. 7 durch Kreise angedeutet.

Aus Fig. 7 geht hervor, daß oberhalb einer bestimmten Größe des Leckwiderstands (z. B. $\geq 4 \mu A$, ausgedrückt als I_{cp}) die Änderung von PS_{O_2} (Sauerstoff-Partialdruck in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle) sehr klein und für praktische Zwecke vernachlässigbar ist.

Im folgenden ist eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoff-Verhältnissensors anhand von Fig. 8 beschrieben, die in perspektivischer Darstellung den Leckdrosselteil (leakage resisting portion) des Sensors veranschaulicht.

Mit Ausnahme der Anordnung des Leckdrosselteils im ersten Element A entspricht der Sensor gemäß der zweiten Ausführungsform bezüglich Aufbau, Material, Herstellungsverfahren und Verwendungsart vollständig dem Sensor gemäß der ersten Ausführungsform.

Der Leckdrosselteil des Sensors gemäß Fig. 8 ist durch eine poröse Leitung zu einer Elektrode 301, eine poröse Leitung zu einer Elektrode 302, eine den Anschluß 12 mit der Leitung zur Elektrode 302 verbindende durchgehende Bohrung H1 und einen zwischen der Leitung zur Elektrode 301 und der Bohrung H1 vorgesehenen porösen Isolator Z1 festgelegt.

Wie aus dem Teilschnitt von Fig. 9A hervorgeht, ist die durchgehende Bohrung H1 mit einem dem Material der porösen Elektrode 302 entsprechenden Material ausgefüllt, das nicht nur porös, sondern auch leitfähig ist.

Eine andere Anordnung der durchgehenden Bohrung H1 ist in Fig. 9B veranschaulicht, wobei die Bohrung nur an ihre Innenfläche mit einem leitfähigen Material beschichtet ist.

Der Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor gemäß der zweiten Ausführungsform kann mittels eines Luft/Kraftstoffverhältnis-Signaldetektorkreises gemäß Fig. 4 oder 5 betrieben werden.

Bei der zweiten Ausführungsform ist der Leckdrosselteil länger als bei der ersten Ausführungsform. Neben den mit der ersten Ausführungsform erzielten Vorteilen gewährleistet somit dieser Leckdrosselteil einen höhe-

ren Widerstand gegenüber einer Gasleckage bzw. einem Heraussickern von Gas, und er ermöglicht einen noch höheren Stabilitätsgrad der Größe PS_{O_2} , d. h. des Sauerstoff-Partialdrucks in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle. Darüber hinaus braucht nur eine einzige Bohrung in der Festelektrolytplatte 303 ausgebildet zu sein, weil die zur Leitung zur porösen Elektrode 302 führende durchgehende Bohrung auch als durchgehende Bohrung oder Durchgang im Leckdrosselteil dient. Hierdurch wird nicht nur die Aufrechterhaltung der strukturellen Integrität der Festelektrolytplatte 303 begünstigt, sondern auch die Zahl der Fertigungsschritte bei der Herstellung des Sensors vermindert.

Beim erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor wird eine konstante Größe des durch das erste Element A fließenden Stroms aufrechterhalten, um in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle Sauerstoff zu erzeugen, wobei der so erzeugte Sauerstoff in den Gasraum eindringen kann, der auf diese Weise stets mit einer konstanten Zusammensetzung besitzenden Atmosphäre gefüllt ist. Infolgedessen ist der Druck des Bezugssauerstoffs stabilisiert, und das Luft/Kraftstoffverhältnis des einer Kraftfahrzeug-Brennkraftmaschine oder einer anderen Verbrennungsvorrichtung zugeführten Gases kann ebenso genau gemessen werden wie bei Verwendung von atmosphärischer Luft als Referenz.

Der erfindungsgemäße Luft/Kraftstoff-Verhältnissensor braucht somit nicht mit einer Öffnung versehen zu sein, über welche Atmosphärenluft eingeführt wird, so daß sich der Sensor zufriedenstellend wasserdicht auslegen läßt.

Da weiterhin der Leckdrosselteil im Sensor nicht dem umgebenden Abgas ausgesetzt ist, kann der Sensor über einen längeren Zeitraum hinweg zuverlässig arbeiten, ohne daß sich Ablagerungen aus dem Abgas im Leckdrosselteil bilden. Der erfindungsgemäße Sensor bietet den weiteren Vorteil, daß bei der Herstellung auftretende Abweichungen der Leckdrossel- oder Leckage-Widerstandskennlinien auf eine Größe verringert werden können, welche die Messung des Luft/Kraftstoffverhältnisses nicht beeinflußt oder stört. Infolgedessen lassen sich Erzeugnisse hoher Güte und gleichbleibender Leistungseigenschaft ohne die Notwendigkeit für zusätzliche Endbearbeitungsschritte, wie Trimmen, herstellen.

FIG. 1

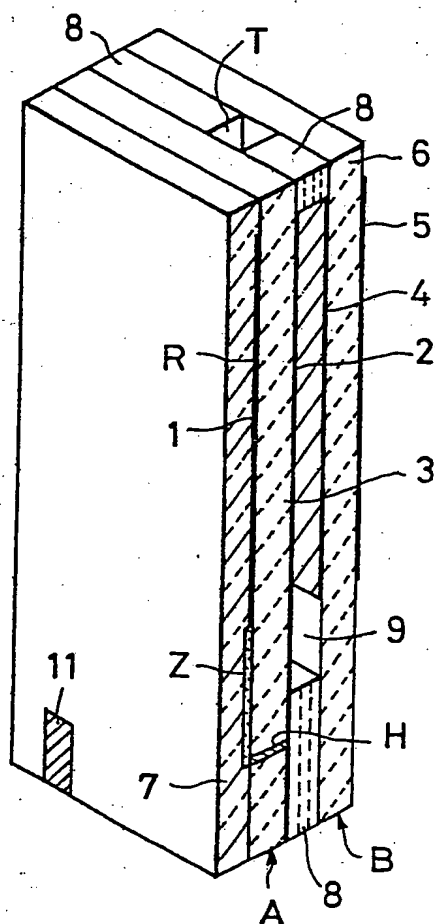


FIG. 3

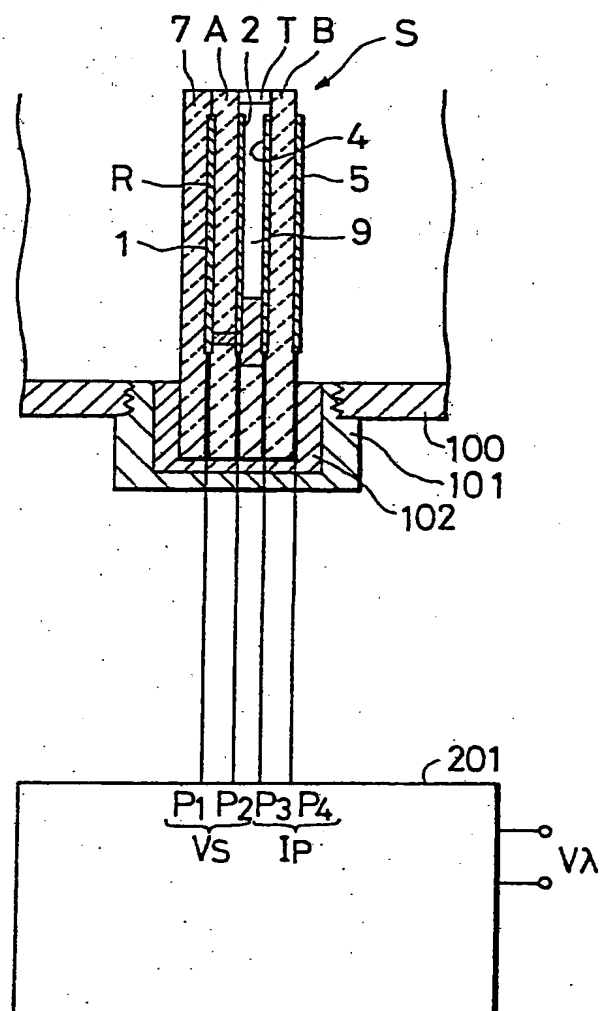


FIG. 2A

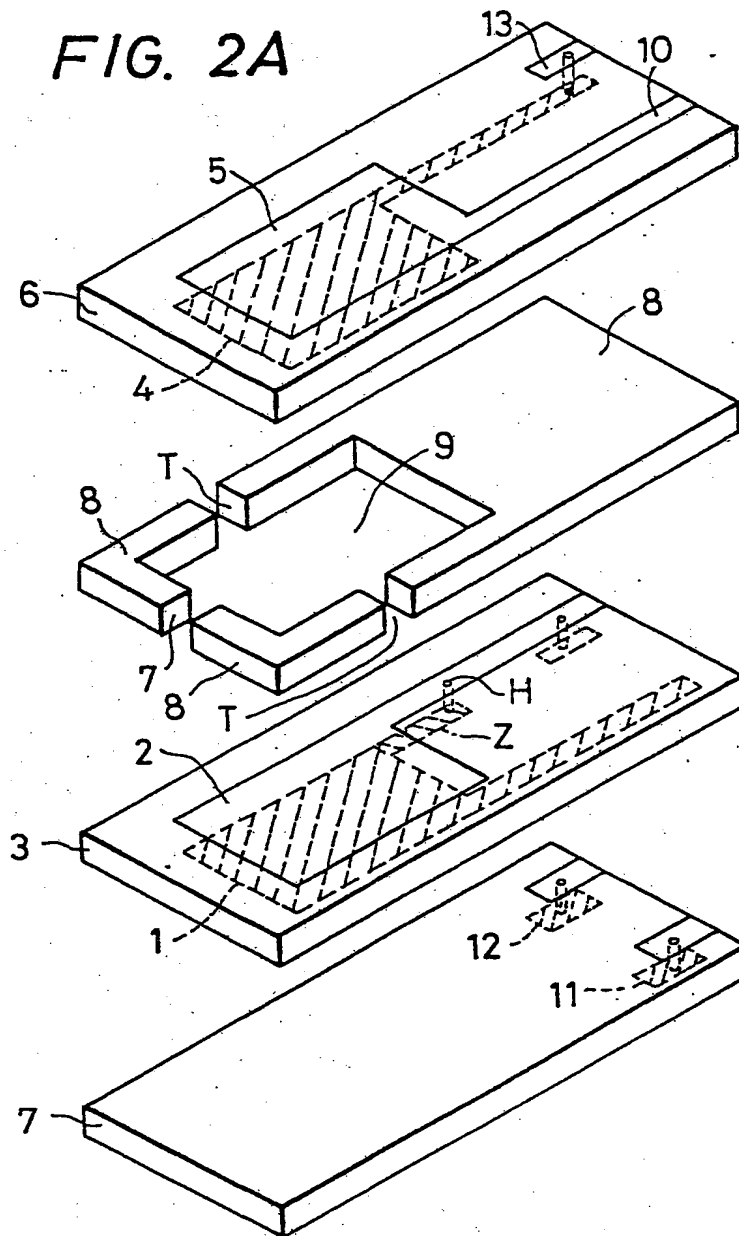
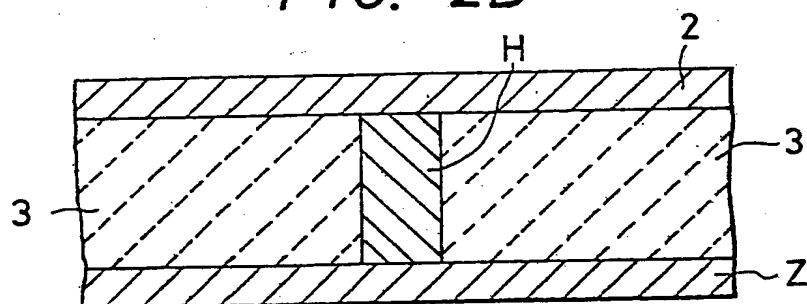


FIG. 2B



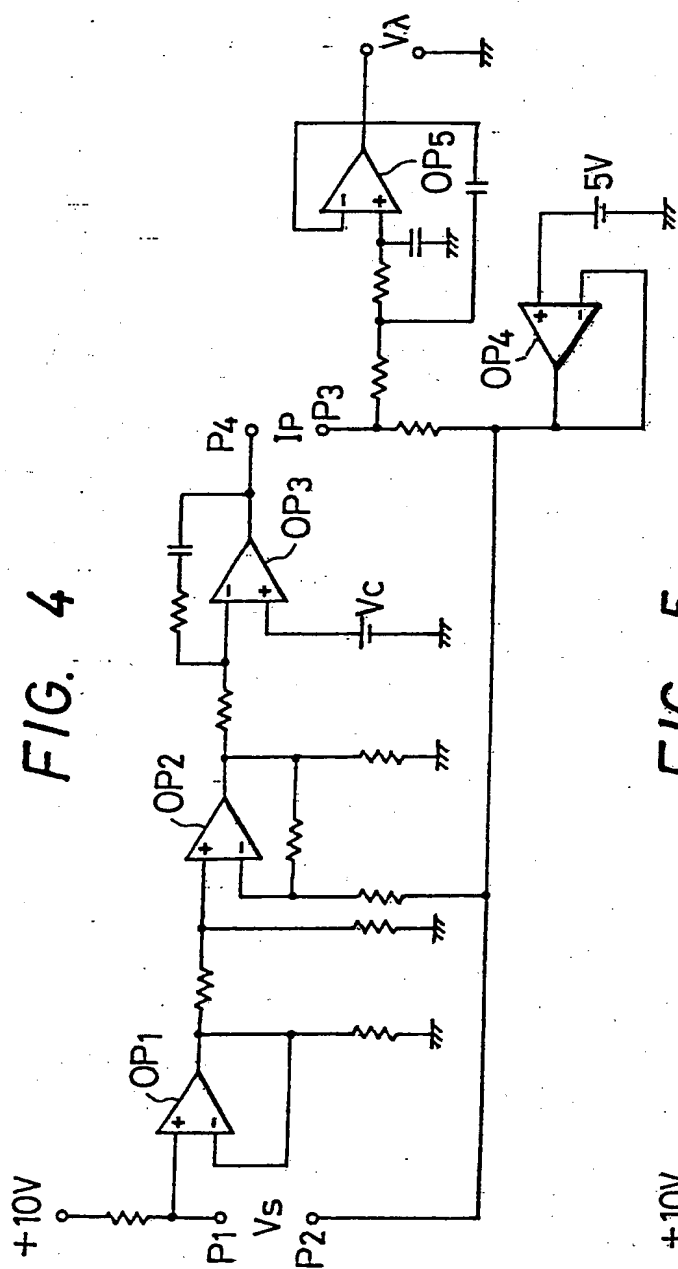
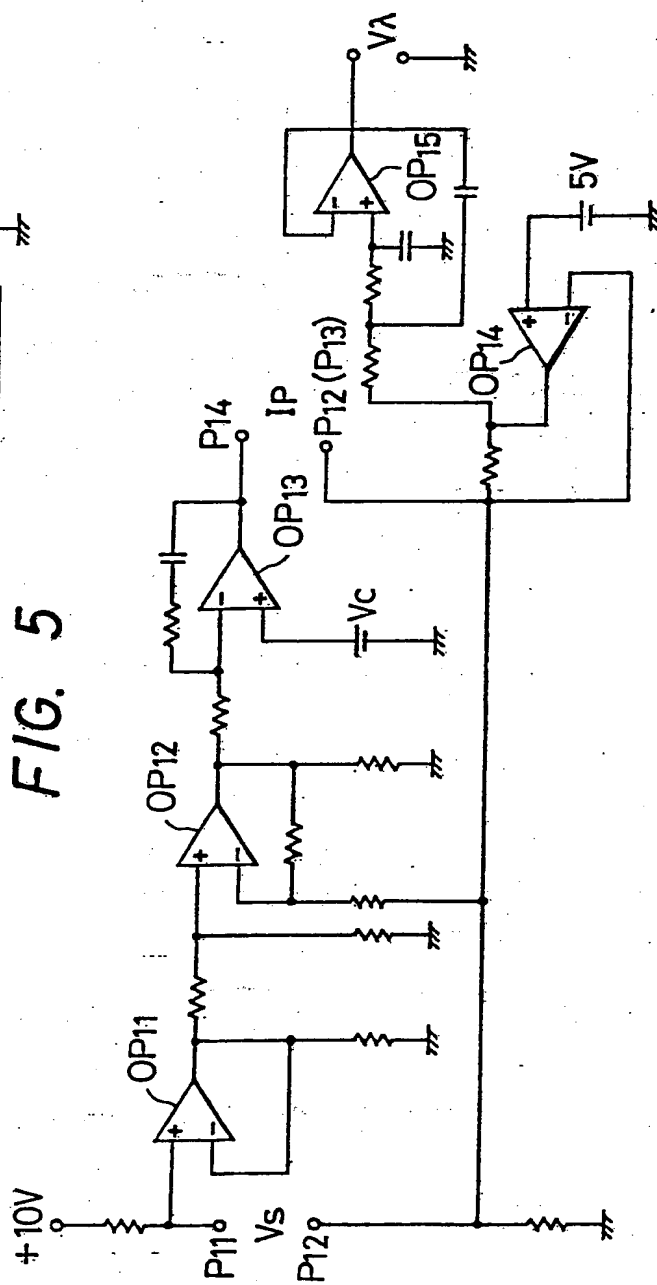
**FIG. 5**

FIG. 6

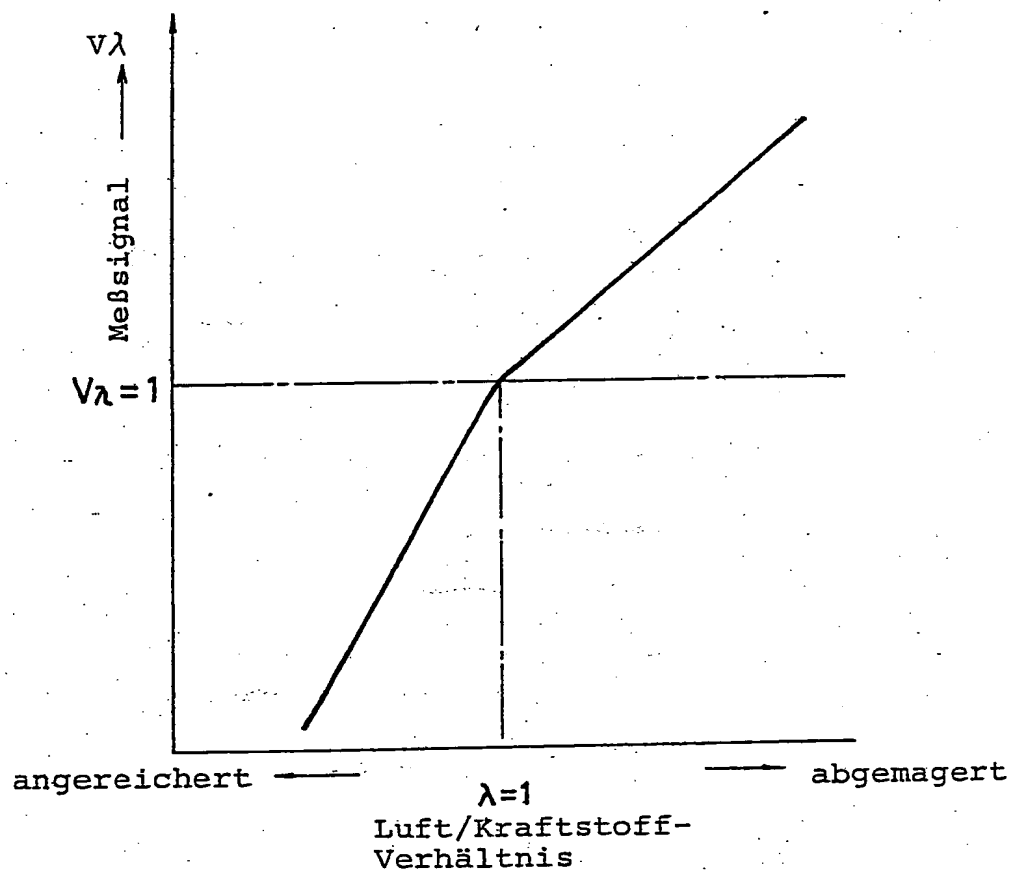


FIG. 7

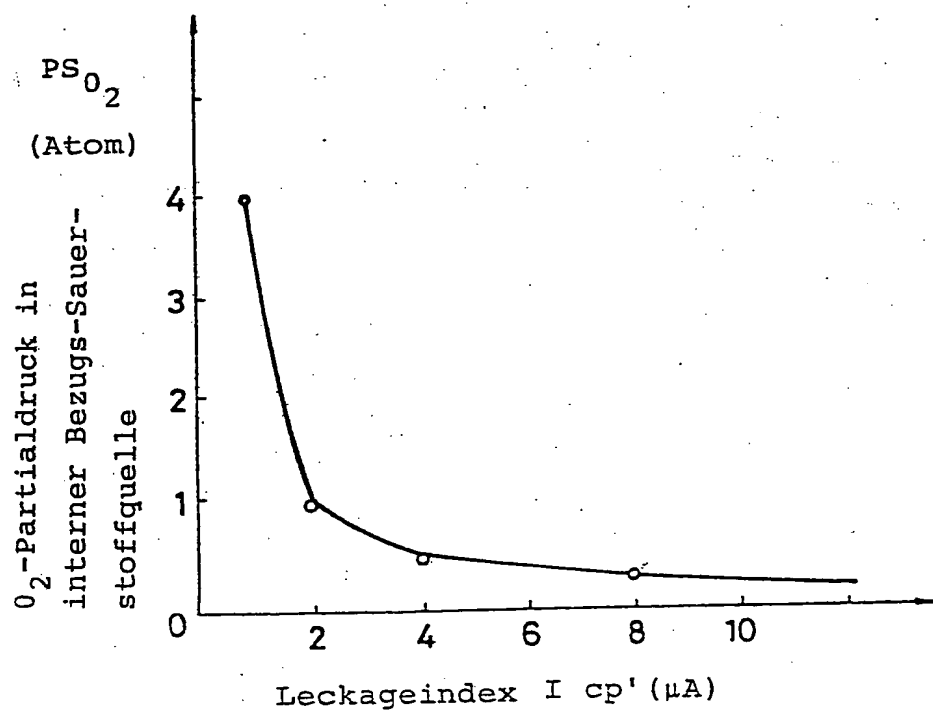


FIG. 8

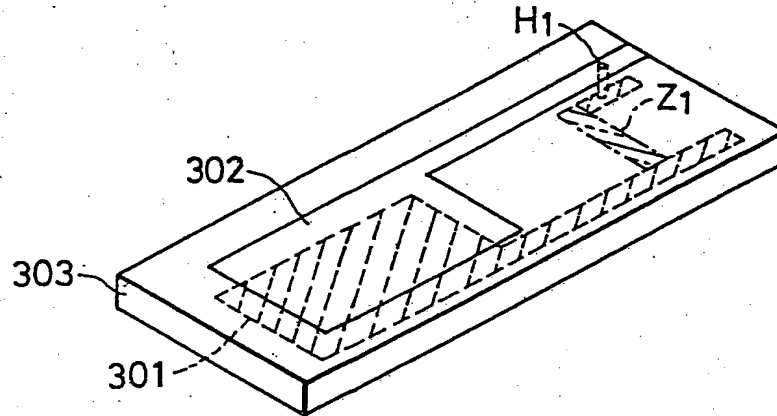


FIG. 9A

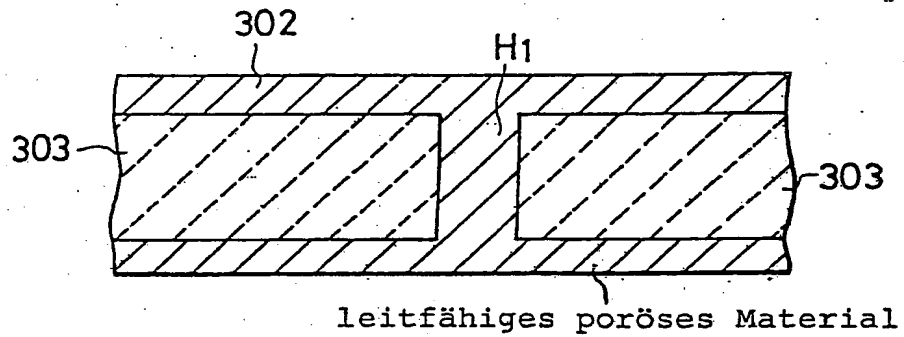


FIG. 9B

